

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE UMA ESTRADA DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO, NÃO PAVIMENTADA

M. M. Cabette¹, M. J. C. Minhoto², A. M. V. Paula³ e E. C. A. Fonseca⁴

¹Aluna de dupla diplomação, Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Portugal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Brasil, marinacabette@alunos.utfpr.edu.br;

²minhoto@ipb.pt, Departamento de Construção Civil e Planeamento, Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTiG), IPB, Portugal;

³mpaula@ipb.pt, Departamento de Mecânica Aplicada, ESTiG, IPB, Portugal;

⁴ewertonfonseca@utfpr.edu.br, Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC), UTFPR, Brasil.

Sumário

O presente trabalho objetiva o estudo de uma estrada de baixo volume de tráfego (EBVT) não pavimentada, na região do parque natural de Montesinho, a qual, pela sua importância na valorização deste parque natural e pelo fato de assegurar o acesso entre duas barragens que abastecem as localidades da região de Bragança, tem em vista assegurar a segurança e o conforto de quem a utiliza sem alterar paisagens naturais e seminaturais e a diversidade ecológica do local. A conservação adequada desta estrada exige que seja periodicamente avaliado o estado estrutural e funcional da mesma, envolvendo uma caracterização predominantemente geotécnica, pelo fato de ser não pavimentada.

Palavras-chave: Estradas de baixo volume de tráfego; estrada não pavimentada; avaliação funcional e estrutural; conservação.

1 INTRODUÇÃO

As estradas constituem uma contribuição fundamental para o crescimento e desenvolvimento econômico de um país, desde os primórdios da civilização humana, além de proporcionarem importantes benefícios sociais. As estradas de baixo volume de tráfego (EBVT) representam uma extensão considerável da malha rodoviária existente, portanto também desempenham um papel relevante no âmbito de uma rede rodoviária mais global.

Na maioria dos países, as redes de EBVT integram estradas e caminhos não pavimentados, normalmente estabelecidos em uma perspectiva de ligação a lugares mais recônditos e/ou localizadas em áreas que, em muitos casos, integram zonas ecológicas e agrícolas protegidas, nas quais se encontram parques e reservas naturais, como o Parque Natural de Montesinho, em Bragança. Neste parque encontra-se uma estrada não pavimentada apresentando alguma degradação, a qual permite o acesso a duas barragens (Serra Serrada e Veiguiñas), que abastecem de água a região de Bragança.

No organismo gestor da rede não existe documentação nem projeto destas vias de comunicação, como é caso comum em estradas não pavimentadas. Porém, por motivos de acesso, em comodidade e segurança, a este parque natural por parte dos visitantes, entidades gestoras do parque e dos serviços de proteção civil, é necessário dispor de vias de comunicação em bom estado de conservação para assegurar o seu deslocamento mais eficaz em caso de tragédias, de manutenção do parque ecológico e prestação de serviços à população local.

Na Figura 1, é apresentada a estrada não pavimentada de baixo volume de tráfego que se encontra numa região montanhosa, próxima da aldeia de Montesinho, no nordeste de Portugal, mesmo junto à fronteira com Espanha. A estrada é o principal percurso para as duas barragens, pertencentes ao município de Bragança, que integram a Albufeira de Veiguiñas e a Albufeira da Serra Serrada, localizadas a 1200-1300 metros de altitude.

A EBVT em estudo tem o seu ponto inicial nas coordenadas (WGS84) 41° 57' 44" N e 6° 48' 28" W (ETRS89-TM06: M=109895.69; P=255700.959) (ponto A) e termina nas coordenadas 41° 56' 7" N e 6° 48' 50" W

(ETRS89-TM06: M=109453.21; P=253049.46) (ponto B). O percurso seleccionado para estudo conta com 3,06 km de extensão.

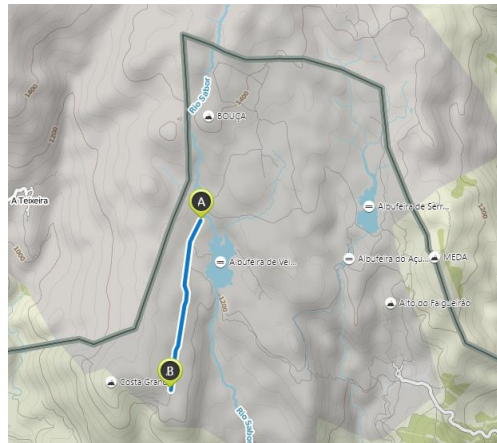


Fig.1. Localização da EBVT, próximo à fronteira Portugal- Espanha e que faz acesso a duas barragens.

Pela importância na valorização deste parque natural e pelo fato de assegurar o acesso entre duas barragens que abastecem as localidades da região de Bragança, necessita de conservação periódica por parte do organismo gestor da rede, concretamente da Câmara Municipal de Bragança, tendo em vista assegurar a segurança e o conforto de quem a utiliza. Por este motivo, o objetivo desse trabalho é analisar o estado e propor solução de melhoria para uma estrada de baixo volume de tráfego não pavimentada, tendo em consideração as características geotécnicas locais.

2 ESTUDO DO ESTADO FUNCIONAL DO PAVIMENTO

A avaliação do estado da superfície da estrada está diretamente relacionada com o conforto dos utentes, e por este motivo, a avaliação consiste na auscultação da superfície dos pavimentos [1]. Nesta auscultação obtêm-se dados pertinentes à definição da degradação superficial (buracos, erosão), da profundidade do afundamento, das ondulações, etc. A gravidade da degradação também deve ser medida, além do registro visual da condição da superfície do pavimento [2].

Este trabalho resultou na análise do estado funcional do pavimento com base em duas metodologias: Método do Índice de Gravidade Global (IGG), descrito na norma brasileira DNIT 006/2003-PRO [3] e Método de avaliação superficial de estradas com revestimento de cascalho, desenvolvido por Beckemeyer [4].

A avaliação da estrada proposta é efetuada sob dois pontos de vista: do estado relacionado com a degradação e do estado do sistema de drenagem. Para realizar a avaliação, optou-se em dividir o trecho em sub-trechos, conforme recomenda a norma DNIT 006/2003-PRO [3], baseado em resultados de ensaios espaçados de 100 m, como mostrado na Figura 2.

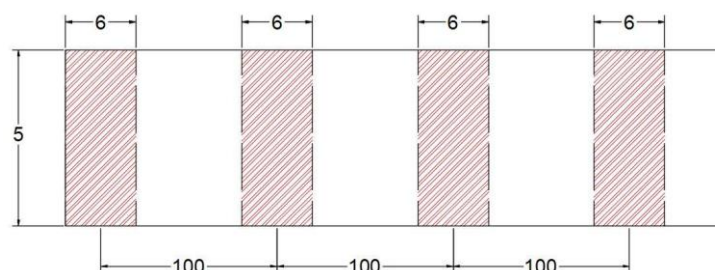


Fig.2. Áreas de avaliação funcional (sem escala) (em metros).

O método do índice de gravidade global apresenta um sistema de cálculo baseado num índice combinado de degradações, o Índice de Gravidade Global (IGG), similar ao método de serventia desenvolvido pela AASHTO, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1. Índice de Gravidade Global.

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Este índice é calculado por meio da Equação 1.

$$IGG = \Sigma IGI \quad (1)$$

onde, IGI é o Índice de Gravidade Individual, definido na Equação 2.

$$IGI = f_p \cdot f_r \quad (2)$$

onde, f_p é o fator de ponderação de danos, disponibilizado na norma DNIT 006/2003-PRO [3], e f_r é a frequência relativa, isto é, o número de vezes que o dano foi verificado em relação ao total de estações. A frequência relativa é definida a partir da Equação 3.

$$f_r = \frac{f_a \cdot 100}{n} \quad (3)$$

onde, f_a é a frequência absoluta, a qual corresponde ao número de vezes que o dano foi verificado e n é o número de estações inventariadas.

Adicionalmente, Beckemeyer [4] descreve a gravidade das anomalias identificadas nas estradas não pavimentadas, e com base nisto, os Quadros 2 e 3 descrevem o que se deve observar e medir para correlacionar com a gravidade disto na funcionalidade da estrada.

Quadro 2. O que observar em relação ao inadequado sistema de drenagem da estrada.

	O que observar?	Gravidade
Inclinação transversal incorreta...	se existe ou não	-
Acostamentos elevados com...	até 25 mm	Baixo
	25 a 75 mm	Médio
	mais de 75 mm	Elevado
Bueiros...	se existe ou não	-
Valas...	se existe ou não	-
Crescimento da vegetação/ acúmulo de sedimentos nas valas com...	até 150 mm	Baixo
	150 a 250 mm	Médio
	mais de 250 mm	Elevado

Quadro 3. O que observar em relação à degradação da estrada.

	O que observar?	Gravidade
Ondulações com...	até 25 mm	Baixo
	25 a 75 mm	Médio
	mais de 75 mm	Elevado
Buracos com.. (em sua maioria não são maiores do que 1 m de diâmetro)	até 50 mm de profundidade	Baixo
	50 a 100 mm	Médio
	mais de 100 mm	Elevado
Afundamentos com...	até 25 mm	Baixo
	25 a 75 mm	Médio
	mais de 75 mm	Elevado
Percurso de erosão com...	até 50 mm de profundidade	Baixo
	50 a 100 mm	Médio
	mais de 100 mm	Elevado
Perda de agregado/ cascalho solto com...	até 50 mm de altura (pouco)	Baixo
	50 a 100 mm (médio)	Médio
	mais de 100 mm (denso)	Elevado
Poeira com...	300 cm de altura	Baixo
	300 a 2000 mm	Médio
	mais de 2000 mm	Elevado

Foram, portanto, 31 estações de estudo, nas quais se visualizam partes que estão com grandes degradações como mostra a Figura 3.



(a) Vala inexistente.

(b) Afundamento trilho de roda.

(c) Buracos e ausência de valas.

Fig. 3. Degradações ao longo da estrada em estudo.

O DNIT 006/2003-PRO utiliza no cálculo do IGG, fatores de ponderação relativos à (patologias) apresentadas nas estradas pavimentadas. Portanto, para este trabalho, novos fatores de ponderação são apresentados para estradas não pavimentadas. Estes valores do fator de ponderação estão nos Quadros 4 e 5.

Com a contagem das degradações e das inadequações contidas na estrada em estudo, os Quadros 4 e 5 contêm o valor final de IGG desta estrada.

Quadro 4. Índice de Gravidade Global (IGG) em relação à degradação.

Item	Degradação	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI	
1	Ondulações	baixo	2	6,45	0,70	4,52
		médio	1	3,23	0,85	2,74
		elevado	2	6,45	1,00	6,45
2	Buracos	baixo	18	58,06	0,70	40,65
		médio	6	19,35	0,85	16,45
		elevado	4	12,90	1,00	12,90
3	Afundamentos	baixo	21	67,74	0,70	47,42
		médio	12	38,71	0,85	32,90
		elevado	3	9,68	1,00	9,68
4	Percurso de Erosão	baixo	18	58,06	0,70	40,65
		médio	0	0,00	0,85	0,00
		elevado	3	9,68	1,00	9,68
5	Cascalho Solto/Perda de Agregados	baixo	7	22,58	0,50	11,29
		médio	0	0,00	0,75	0,00
		elevado	2	6,45	0,80	5,16
6	Poeira	baixo	0	0,00	0,25	0,00
		médio	0	0,00	0,30	0,00
		elevado	0	0,00	0,35	0,00
nº total de estações		31	ΣIGI = IGG		240,48	

Quadro 5. Índice de Gravidade Global em relação ao inadequado sistema de drenagem.

Item	Inadequado sistema de drenagem	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI	
1	Inclinação Transversal Incorreta	8	25,81	1,00	25,81	
2	Acostamentos e Bermas Elevados	baixo	10	32,26	0,50	16,13
		médio	16	51,61	0,75	38,71
		elevado	5	16,13	1,00	16,13
3	Bueiros/Galerias/Aquedutos Inexistentes	1	3,23	1,00	3,23	
4	Valas Inexistentes	10	32,26	1,00	32,26	
5	Crescimento da Vegetação/Sedimentos na Vala	baixo	17	54,84	0,20	10,97
		médio	13	41,94	0,60	25,16
		elevado	30	96,77	0,80	77,42
nº total de estações		31	ΣIGI = IGG		245,81	

Nota-se que a existência de defeitos relacionados à degradação são essencialmente buracos, afundamentos e percurso de erosão. Os buracos e afundamentos podem ser decorrentes da má compactação e da baixa resistência das camadas de solo que constituem a estrutura do pavimento. Já o percurso de erosão é devido ao inadequado sistema de drenagem.

O Quadro 5 apresenta um IGG alto, contendo várias inadequações no sistema de drenagem nessa estrada. Ressalta-se que em estradas não pavimentadas, o sistema de drenagem deve ser bem mais elaborado do que estradas pavimentadas que possuem camada de revestimento. Além disso, manutenções de rotina/preventiva devem ser realizadas, para manter a estrada em pleno funcionamento.

Ao correlacionar os resultados dos Quadros 4 e 5 com o Quadro 1, conclui-se que o estado da estrada em estudo se encontra em mau estado de conservação.

3 CARACTERIZAÇÃO DAS SEÇÕES DE ESTUDO

Devido à extensão da estrada em estudo, sobre a qual se realizou um grande número de ensaios, será adotado o método das subseções homogêneas, designado “Método das Diferenças Acumuladas”, indicado pela AASHTO.

Este método analítico é usado para delinear unidades estatisticamente homogêneas a partir da resposta ao pavimento ao longo de um sistema rodoviário. Esta abordagem pode ser usada para uma variedade de valores medidos de resposta do pavimento, como deflexão, funcionalidade, resistência ao deslizamento, índices de severidade do pavimento, dentre outros [5].

Com a delimitação das seções homogêneas é de grande importância determinar os valores representativos de cada zona delimitada. Cada seção apresenta características diferentes, sendo por isso necessário eleger os valores característicos com uma determinada probabilidade de ocorrência.

Para o atual trabalho, opta-se por percentil 85%. O percentil 85% corresponde a uma probabilidade da resposta do pavimento considerada ser ultrapassada de 15% (valor conservativo), e leva em consideração a distribuição de Gauss, que obtém o valor de 1,04 para cálculo. Por meio da Equação 4 pode então determinar o valor característico (K) [6].

$$K = m + 1,04 * s \quad (4)$$

onde, m é a média aritmética e s é o desvio padrão.

Para cada subseção delimitada determina-se a resposta representativa do pavimento. E, portanto, deve se selecionar o local cujo valor de resposta do pavimento se aproxima dos obtidos para o percentil 85%. Para relacionar os valores será utilizado o Erro Médio Quadrático, em porcentagem (*Root Mean Square Deviation - RMS*), que é frequentemente usado para medir as diferenças entre os valores preditos por um modelo ou um estimador e os valores observados (Equação 5) [7].

$$RMS = \left[\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i^c - d_i^m}{d_i^m} \right)^2 \right] * 100 \quad (5)$$

onde, d_i^c é o valor calculado no ponto i ; d_i^m é o valor medido no ponto i e o n é o número de pontos utilizados.

Foram realizados os ensaios a cada 100 m, e alternados no rodado direito e no rodado esquerdo (direito do outro sentido), por ser pista simples de 5 m de largura aproximadamente. Portanto, foram selecionados 31 pontos nos 3 km de extensão da estrada. Para o caso em estudo, foi medida a resposta do pavimento por meio do ensaio de Penetrômetro Dinâmico Ligeiro e Carga em Placa.

3.1 Ensaio de Penetrômetro Dinâmico Ligeiro (PDL)

O ensaio de Penetrômetro Dinâmico Ligeiro (PDL) foi realizado com base na Norma EN ISO 22476-2:2005.

Este ensaio foi realizado até 1,0 m de profundidade (ou até atingir a NEGA). Entretanto, para recolha das amostras do solo, só foi possível recolher solo até uma profundidade de 0,4m, devido ao local pertencer a uma

reserva natural e não ser possível usar equipamento pesado (tipo retroescavadeira) para obter solo a maior profundidade. Devido a esta limitação, a Figura 4 apresenta as seções homogêneas quando se considera apenas os resultados do ensaio PDL até aos 0,4 m de profundidade.

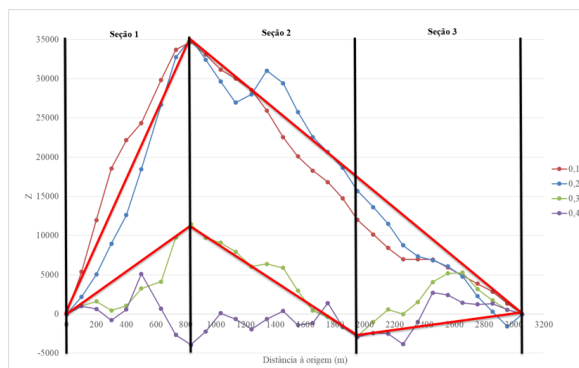


Fig.4. Delimitação das seções homogêneas, por meio do ensaio de PDL nos 0,4 primeiros metros.

A partir das seções homogêneas obtidas, podem ser determinados os valores característicos de N10 de cada camada para cada seção, e por meio do RMS determinar o ponto representativo da seção, na qual será utilizada para realizar os restantes ensaios e análises.

Assim, tendo em conta os dados obtidos, os pontos selecionados para a recolha de amostras são os pontos 1 (0m), 14 (1342m) e 21 (2056m) que obtiveram os menores valores de RMS 23,74%, 27,61% e 30,89%, respectivamente.

3.2 Ensaio de Carga em Placa

O ensaio de Carga em Placa foi realizado com base na Norma NF P 94-117-1:2000 que resulta no módulo de deformabilidade no 2 ciclo de carga (EV2).

A Figura 5 apresenta a diferença acumulada (número Z), realizado para os módulos de deformabilidade calculados por meio do ensaio.

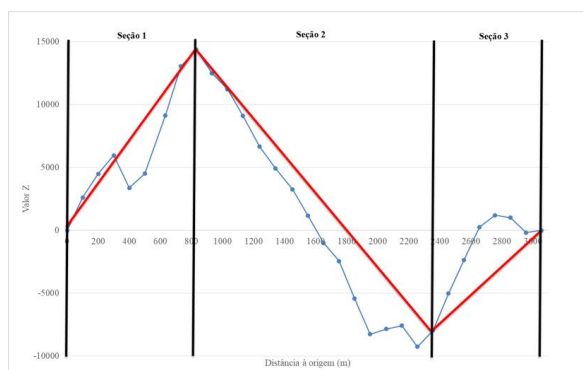


Fig.5. Diferença acumulada (Z), do ensaio de carga em placa - delimitação das seções homogêneas.

A partir desta análise foi possível separar as seções por meio da alteração da inclinação das retas. Na Figura 5 nota-se que foram obtidas três seções homogêneas, por meio dos resultados do ensaio de carga em placa.

Assim como no ensaio PDL, o ponto representativo de cada seção com os resultados de EV2 do ensaio de carga em placa é determinado a partir dos valores característicos de EV2, e conseqüentemente, por meio do RMS define-se o ponto representativo da seção.

Os pontos selecionados para a recolha de amostras são os pontos 3 (300m), 21 (2056m) e 31 (3056m) que obtiveram os valores RMS de 0,31%, 12,62% e 8,91%, respectivamente. Os baixos valores de erro se devem a ter apenas uma variável de comparação.

4 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

O levantamento da condição estrutural do pavimento fornece informações quanto ao estado estrutural da estrada e o grau de reabilitação, permitindo a seleção e dimensionamento da mais adequada alternativa de reabilitação [1].

A avaliação estrutural pode ser realizada tanto em laboratório, quanto in situ. Nos ensaios realizados em laboratório é necessária a extração in situ, por meio de poços de sondagens para a determinação de características físicas dos materiais.

No total foram selecionados cinco pontos para coleta de amostras que representam as seções homogêneas, são eles: pontos 1 (0m), 3 (300m), 14 (1342m), 21 (2056m) e 31 (3056m) (distância à origem). Nos cinco pontos selecionados para a coleta de amostra, foram obtidos 35 kg de solo até uma profundidade de 0,4 m para posteriormente realizar os ensaios em laboratório. Ao escavar o subsolo, notou-se a existência de distintas camadas de solo, por isso, optou-se pela separação das amostras para realização dos ensaios.

Podem ser identificados índices e parâmetros tais como: limites de Atterberg, granulometria, teor de umidade, tipo de material, capacidade de suporte, módulo de deformabilidade e outros. Já na avaliação por meio de ensaios in situ, pode compreender o comportamento estrutural das camadas do pavimento quando submetido a um carregamento conhecido, podendo, portanto, medir a resposta real na superfície do pavimento.

4.1 Análise granulométrica

O ensaio foi realizado segundo norma LNEC E 239 – 1970. O Quadro 6 apresenta as classificações dos solos segundo o sistema unificado de classificação de solos (SUCS), normatizado pela ASTM D 2487 – 85 e em seguida pela classificação HRB (*Highway Research Board*) para fins rodoviários.

Quadro 6. Classificação dos solos.

Pontos	Camada	Sistema de classificação	
		S.U.C.S.	H.R.B
1	1.º	SW-SM a	A1a
	2.º	GW-GM	A1a
3	1.º	SW-SM	A1b
	2.º	SP-SM	A1b
14	1.º	SM a	A1b
	2.º	SP	A1a
21	1.º	SM	A1b
	2.º	GW-GM	A1a
31	1.º	SM	A1b
	2.º	GP-GM	A1a

Ressalta-se que os solos colhidos nos cinco pontos de amostragem não apresentaram índice de plasticidade (IP). Conclui-se que os solos encontrados em todos os pontos de amostragem são adequados para uso em camadas que constituem o pavimento (sub-base).

4.2 Proctor normal

Foram realizados ensaios Proctor normal segunda a norma ASTM D 698-07. Por meio dos ensaios, foram obtidos os teores ótimos de umidade de cada solo, assim como suas respectivas massas específicas aparentemente secas. A Figura 6 mostra as curvas de compactação obtidas para cada amostra de solo coletada.

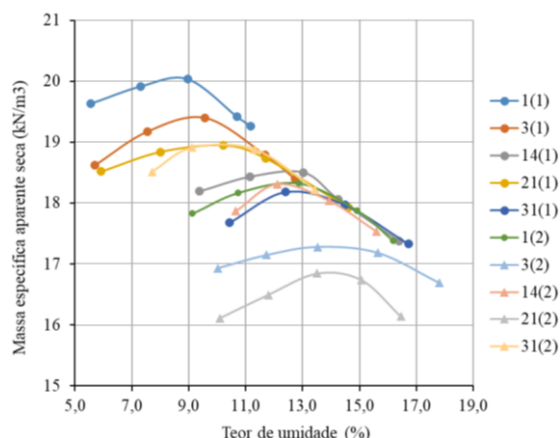


Fig.6. Resultado do ensaio proctor normal dos pontos de ensaio selecionados.

4.3 CBR (*California Bearing Ratio*) em laboratório e *in situ*

O ensaio de *California Bearing Ratio* (CBR) em laboratório foi realizado segundo norma ASTM D 1883-07. E o ensaio de CBR *in situ* foi realizado segundo a norma BS 1377:9-1990. O Quadro 7 apresenta os valores de CBR *in situ* e em laboratório dos pontos selecionados.

O valor do CBR em laboratório obtido é para 95% do grau de compactação ótimo. Observa-se que os valores de CBR no Ponto 1 e 3 são próximos e apresentam valores altos de resistência. Enquanto, no Ponto 14, na primeira camada, o resultado obtido de CBR é o menor apresentado. Nos pontos 21 e 31, os resultados obtidos de CBR, na primeira camada também são próximos e confere a uma boa resistência do solo.

Assim como no ensaio de CBR em laboratório, observa-se que os valores de CBR *in situ* no ponto 1 e 3 são idênticos e apresentam valores altos de resistência. Enquanto que no ponto 14, o valor obtido é o mais baixo dos 5 ensaios.

Quadro 7. CBR do solo nos pontos selecionados.

Pontos	CBR <i>in situ</i> (%)	Camada	CBR em laboratório (%)
1	37,33	1.º	38,79
		2.º	29,97
3	39,95	1.º	36,84
		2.º	23,37
14	23,72	1.º	17,62
		2.º	37,78
21	30,79	1.º	29,33
		2.º	20,94
31	28,41	1.º	30,14
		2.º	40,20

5 CONCLUSÕES

Como principais conclusões pode-se referir que as avaliações funcionais e estruturais em conjunto apresentam melhor base para elaborar um plano de manutenção e/ou reabilitação adequados.

No presente estudo realizou-se uma avaliação funcional da estrada e obtiveram-se as seguintes conclusões: ausência do sistema de drenagem; a superficial da estrada apresenta-se bastante degradada e com desempenho funcional comprometido pela existência de várias formas de degradações; é notório a ausência de manutenções preventivas e corretivas.

No caso em estudo, a estrada não pavimentada de baixo volume de tráfego possui um solo com boa capacidade resistente, apresentando altos valores de CBR e segundo a classificação de solos HBR (Highway Research Board) tem uma excelente função como sub-base.

Com os resultados obtidos e em uma perspectiva de funcionalidade do mesmo, pode-se concluir que a estrada encontra-se seriamente comprometido, o que afeta diretamente as condições de desempenho, segurança e conforto do trafegar. Tornando-se necessário a intervenção do gestor municipal, através da adoção de uma política de conservação e conscientização, junto com uma atividade de manutenção periódica, restabelecendo desta forma a sanidade dos elementos, o que proporcionará o aumento da vida útil da estrada.

Desta maneira, conclui-se que a estrada precisa de uma reabilitação para melhor funcionamento:

- Limpeza de valas existentes e construção de novas valas com o revestimento e formato adequado;
- Reconstrução da superfície, adicionando cascalho de dimensões maiores, uniformizando a superfície com devida inclinação para drenagem e compactando com o teor ótimo de umidade.

A reconstrução da superfície pode ser realizada com o material de solo local, sendo comprovado o alto valor de resistência por meio da caracterização geotécnica.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao Instituto Politécnico de Bragança (IPB) pelo programa de Dupla Diplomação entre as entidades, que proporcionou o desenvolvimento desta pesquisa. Agradecem também à Câmara Municipal de Bragança por disponibilizarem recurso necessário para a realização desta pesquisa.

7 REFERÊNCIAS

1. Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G. da.; Ceratti, J. A. P. & Soares, J. B., *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*, Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.
2. Seid, K. A., *Assessing Ethiopian Roads Authority (ERA) : Pavement Management System (PMS)*, Ethiopia: Addis Ababa University, 2016.
3. DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, *DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos: Procedimento*, Rio de Janeiro: IPR, 2003.
4. Beckemeyer, C. A., *Rural Road Condition Survey Guide (SD95-16-G1)*, West University Champaign: SD Department of Transportation Office of Research, 1995.
5. Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, vol. 1, 1993.
6. Jacinto, M., Ribeiro, J., & Azevedo, C., Caracterização Estrutural de Pavimentos Rodoviários - Correlação entre a Deflexão Máxima e a Espessura de Reforço, *V Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias*, vol. 024, 5-7 Julho 2006.
7. Sangghaleh, A.; Pan, E.; Green, R.; Wang R., Liu, X. & Cai, Y., Backcalculation of pavement layer elastic modulus and thickness with measurement errors, 6 ed., vol. 15, *International Journal of Pavement Engineering*, 2014, p. 521–531.